

## Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации

*В.И.Нездойминов, В.С. Рожков, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка*

Любая система аэрации в аэротенках с активным илом преследует следующие цели: равномерное распределение хлопьев активного ила во всем объеме аэротенка за счет интенсивного перемешивания; доставка к хлопьям активного растворенного кислорода и субстрата, а также отдувка продуктов метаболизма; обеспечение минимально допустимых придонных скоростей, исключающих залегание ила по дну сооружения.

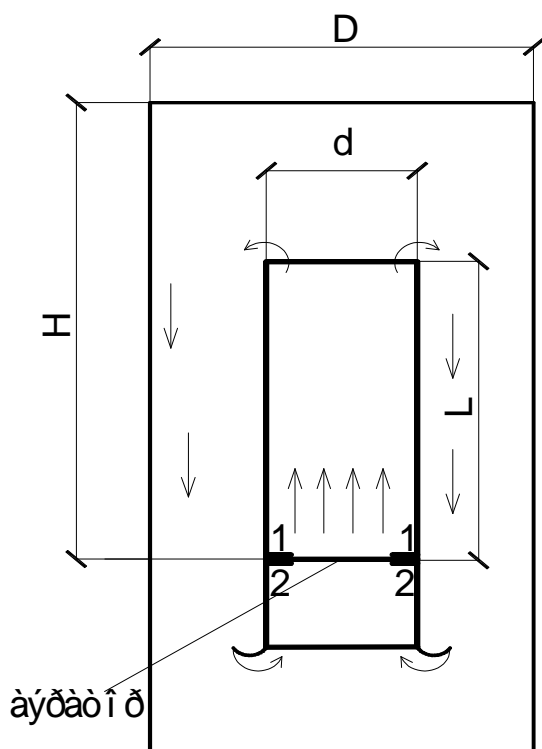
На сегодняшний день наибольшее распространение получили пневматические и механические системы аэрации. Основное их преимущество над остальными заключается в относительно высоких значениях окислительной мощности. К недостаткам этих систем следует отнести невозможность их использования в сооружениях с большой глубиной. Расширить область применения аэраторов среднего давления для аэротенков с глубиной слоя жидкости более 5 м возможно за счет установки затопленной эрлифтной системы, являющейся разновидностью эрлифтного аэратора с водосливным порогом. Отличительная особенность затопленной эрлифтной системы состоит в том, что верхний срез эрлифта расположен ниже уровня воды, обеспечивающий циркуляцию потока жидкости в аэротенке: восходящий поток в самом эрлифте и нисходящий – вне его.

Целью исследований было получение расчетных зависимостей, связывающих подачу воздуха в затопленный эрлифт с гидродинамическими параметрами потока в сооружении.

Нами предлагается для описания процессов в сооружении с затопленным эрлифтом использовать усредненные во времени и пространстве параметры, такие как средняя скорость двухфазового потока, газосодержание, соотношение объемов, заполненных жидкостью и воздухом и ряд других.

Для математического описания гидравлических процессов в аэротенке с затопленным эрлифтом, используется интеграл Бернулли. Применимость данного уравнения допустима, если движение жидкости является установившимся и плавноизменяющимся.

Правомерность описания процессов в данном сооружении с помощью уравнения Бернулли подтверждается тем, что кинетическая энергия, которой обладает объем жидкости между сечениями 1-1 и 2-2 (рис. 1) неизменна во времени при постоянной пода-



**Рис. 1**

че воздуха, линии тока направлены осесимметрично, обеспечивая равномерное поле скоростей.

При получении расчетных зависимостей приняты следующие допущения:

- при глубине жидкости в аэротенке порядка 5 м не учитывается изменение объема пузырька воздуха по мере его всплытия;
- при определении потерь напора в системе, учтены только наиболее значимые из величин.

Исходя из приведенных выше положений, получена зависимость:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \zeta \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{в}} \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

где  $\gamma$  – удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>;

$V_1, V_2$  – скорости жидкости в сечениях 1-1 и 2-2, м/с;

$\zeta$  – коэффициент сопротивления на выход из эрлифта и разворот жидкости в сооружении;

$\xi_{\text{в}}$  – коэффициент сопротивления на вход в эрлифт;

$\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$  – подъемный напор эрлифта, м. вод. ст.

$$V_1 = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{г}}}{\omega_{\text{к}}} \quad (2) \quad V_2 = \frac{Q_{\text{в}}}{\omega_{\text{к}}} \quad (3)$$

где  $Q_{\text{в}}$  – подача эрлифта, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{г}}$  – расход газа (воздуха) через затопленный эрлифт, м<sup>3</sup>/с;  $\omega_{\text{к}}$  – площадь поперечного сечения эрлифта, м<sup>2</sup>.

Подъемный напор эрлифта определяется:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H - \frac{(\gamma_{\text{см1}} \cdot L + \gamma_{\text{см2}} \cdot (H - L))}{\gamma}, \quad (4)$$

где  $L$  – высота эрлифта, м;  $H$  – глубина погружения аэрационной системы в эрлифте, м;  $\gamma_{\text{см1}}$  – удельный вес водо-воздушной смеси внутри эрлифта, Н/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{\text{см2}}$  – удельный вес водо-воздушной смеси над эрлифтом, Н/м<sup>3</sup>;

В (4) объем жидкости разделен на 2 части. Непосредственно в эрлифте, где удельный вес смеси  $\gamma_{\text{см1}}$  и над ним, где плотность смеси отличается от плотности в эрлифте. Это связано с тем, что при выходе из затопленного эрлифта происходит раскрытие струи смеси, в результате чего происходит подмешивание дополнительных объемов жидкости. Это приводит к увеличению плотности смеси в целом.

$$\gamma_{\text{см1}} = \frac{\frac{Q_{\text{в}}}{V_{\text{в}}} \cdot \gamma + \frac{Q_{\text{г}}}{V_{\text{г}}} \cdot \gamma_{\text{г}}}{\omega_{\text{к}}} \quad (5)$$

где  $V_{\text{в}}$  – скорость жидкой фазы в водо-воздушной смеси относительно стенок эрлифта, м/с;  $V_{\text{г}}$  – скорость газа в водо-воздушной смеси относительно стенок, м/с;  $\gamma_{\text{г}}$  – удельный вес газа, Н/м<sup>3</sup>;

В (5), первый слагаемый числителя  $\frac{Q_{\text{в}}}{V_{\text{в}}}$  представляет собой площадь, занимаемую водным потоком в эрлифте, а во втором слагаемом, соответственно,  $\frac{Q_{\text{г}}}{V_{\text{г}}}$  – площадь, занимаемая воздухом. Очевидно, что сумма этих площадей равна геометрической площади эрлифта:

$$\omega_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{в}}}{V_{\text{в}}} + \frac{Q_{\text{г}}}{V_{\text{г}}} \quad (6)$$

В свою очередь, абсолютную скорость газа можно представить в виде:

$$V_r = V_s + V_0 \quad (7)$$

где  $V_0$  - скорость (стесненного либо свободного – в зависимости от режима аэрации) всплытия пузырька, м/с.

Объем газожидкостного потока над эрлифтом увеличивается за счет увлечения дополнительного количества жидкости, и представляет собой объем усеченного конуса  $W_k$  с меньшим основанием, равным площади эрлифта, высотой  $H-L$  и углом раскрытия  $\beta=24^\circ$ .

Следовательно, в объеме смеси, равном  $W_k$  находится такой же объем воздуха, какой находился бы в цилиндре объемом  $W_u$  (с площадью основания, равной поперечному сечению эрлифта и высотой  $H-L$ ) при удельном весе смеси  $\gamma_{см1}$ . В объеме  $W_k$ , жидкости становится больше на величину  $(W_k - W_u)$ . Отсюда, плотность смеси над аэрационной колонной составит:

$$\gamma_{см2} = \frac{W_u \cdot \gamma_{см1} + (W_k - W_u) \cdot \gamma}{W_k} \quad (8), \quad W_u = \frac{\pi d^2}{4} \cdot (H - L) \quad (9),$$

где  $d$  – диаметр эрлифта, м.

$$W_k = \frac{\pi(H-L)}{3} \left[ \frac{(d+2(H-L) \cdot \tan \frac{\beta}{2})^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{d(d+2(H-L) \cdot \tan \frac{\beta}{2})}{4} \right] \quad (10)$$

Сведя все полученные зависимости в уравнение (1) и упрощая, получим:

$$H - \left( \frac{Q_s}{\omega_k V_s} + \frac{Q_r}{\gamma \omega_k V_r} \cdot \gamma_r \right) \cdot L - \left[ W_u \cdot \left( \frac{Q_s}{W_k \omega_k V_s} + \frac{Q_r}{\gamma W_k \omega_k V_r} \cdot \gamma_r \right) + \frac{(W_k - W_u)}{W_k} \right] \cdot (H - L) + \frac{\alpha}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_s + Q_r}{\omega_k} \right)^2 = \frac{\alpha}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_s}{\omega_k} \right)^2 + \frac{\zeta}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_s + Q_r}{\omega_k} \right)^2 + \frac{\xi}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_s}{\omega_k} \right)^2 \quad (11)$$

Уравнения (11) и (6) (с учетом уравнений (9), (10)) представляют систему, описывающую гидродинамику сооружения с затопленным аэратором.

Решение данной системы позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости в сооружении в зависимости от геометрических размеров аэротенка и расхода воздуха, подаваемого в затопленный эрлифт.

При расчете аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации, параметры его работы принято выражать через *интенсивность аэрации* ( $I$ ) м<sup>3</sup> воздуха/ м<sup>2</sup> площади эрлифта в час и коэффициент инжекции ( $k$ ) – отношение расхода воды в эрлифте к расходу подаваемого воздуха. Так, для соотношения площади сооружения и площади эрлифта  $\omega_c:\omega_e = 9:1$ , на рис. 2 приведена графическая зависимость  $k = f(I)$ .

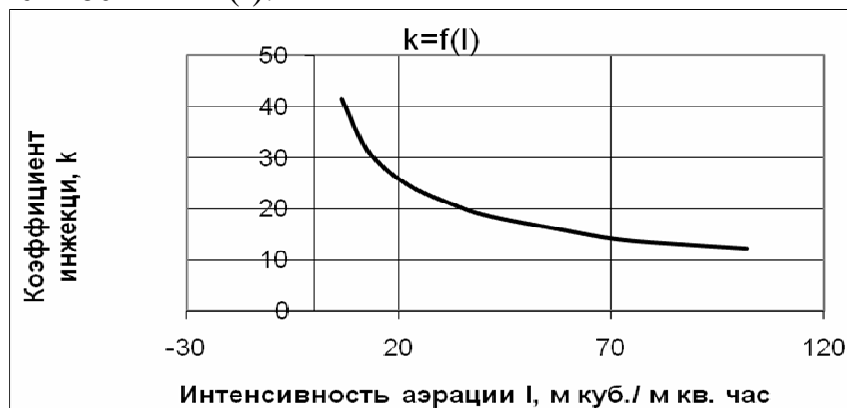
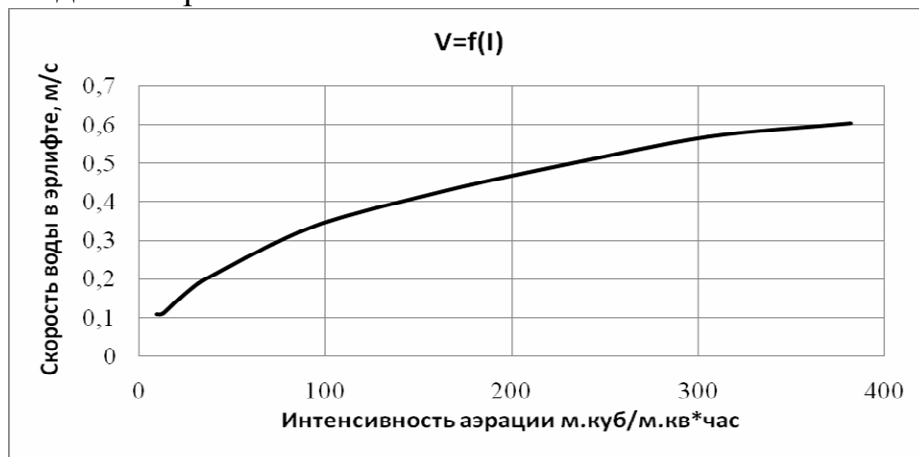


Рис. 2

Расчетная скорость воды в эрлифте в зависимости от интенсивности аэрации приведена на рис. 3.



**Рис. 3**

### *Вывод*

Полученные зависимости позволяют произвести гидродинамический расчет сооружения – аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации, в частности – определить интенсивность аэрации для обеспечения необходимых скоростей на входе в эрлифт. Кроме того, полученные зависимости позволяют подобрать размеры сооружений для проведения процессов биологической очистки с активным илом.